

我国生态农业历史中利用植物辅助效应的实践*

周 晴 孙中宇 杨 龙** 温美丽

(广东省地理空间信息技术与应用公共实验室/广州地理研究所 广州 510070)

摘 要 我国有着悠久的生态农业历史,农、林生态系统中的植物种间关系被关注最多。种间关系主要有 3 种,即竞争、辅助和中性。过去,竞争关系是被研究最多的一种。近 20 年来,辅助关系逐渐受到重视并被引入主流生态学理论中。本文分析了这些经验记载的生态学机理,其中描述最多的是植物幼苗的遮阴以及土壤养分的改良(豆科植物固氮作用)。此外,在缓冲极端温度(夏季高温以及冬季低温)、减少杂草竞争、防止动物捕食、减少水分胁迫等方面也有少量记录。我国古代不仅有利利用两种植物种间辅助效应的丰富记载,还有利用多种植物综合和复合的种间辅助关系,以及植物与动物之间的复杂关系构建生态系统的记载。特别是华南地区具有利用多种植物与动物间关系来构建基塘生态系统、复合果园生态系统、茶园生态系统等方面传统经验的记载。深入挖掘我国传统植物间辅助效应的记载,并对其进行科学研究,是生态学中非常有价值的课题。因此,本文从社会-生态记忆的角度,对古代文献中关于植物间辅助效应的记载进行梳理与分析,希望引起学界同仁对这些传统经验的重视,并在此基础上通过现代生态学的实验方法验证这些记载的真实性与适用性,为生态恢复、生态农业、现代林业及生态系统管理等提供有益的借鉴。

关键词 生态农业 种间关系 竞争 辅助 古代记录

中图分类号: X17; S344 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)12-1585-13

Adoption of plant facilitation effect on ancient ecological agricultural records in China*

ZHOU Qing, SUN Zhongyu, YANG Long**, WEN Meili

(Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application / Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China)

Abstract Most of the records on interspecific relationship in agriculture and forest ecosystems were conserved during the long agricultural history of China. The interspecific association is divided into competition, facilitation and neutrality, where competition is studied in a greater depth. There was an increasing attention on facilitation introduced by the mainstream ecology theories in the past 20 years. China owns voluminous ancient books in which the historical documents left a whole lot of relevant records concerning relationships among species. The records were ancient and accumulated over a long term in the productive practices of observations and experiences. This paper analyzed the ecological mechanisms of these records, most of which were about seedling shading and soil nutrients improvement using legume nitrogen fixation. There was also a small volume of record on buffering extreme temperature (high temperatures in summer and low temperatures in winter), reducing weed competition, preventing predation and alleviating water stress. There was not only rich records about the utilization of

* 国家自然科学基金项目(13CZS066)、国家自然科学基金项目(41301301)、广东省科技计划(粤科规财字 2014-208 号)、广东省水利科技创新项目(2012-14)和广东省科学院平台环境与能力建设专项资金项目(2016GDASPT-0301)资助

** 通讯作者: 杨龙, 主要研究方向为恢复生态学。E-mail: yanglong@gdas.ac.cn

周晴, 主要研究方向为历史地理。E-mail: 19425325@qq.com

收稿日期: 2016-06-21 接受日期: 2016-07-20

* The study was supported by the National Social Science Foundation of China (13CZS066), the National Natural Science Foundation of China (41301301), the Science and Technology Planning Project of Guangdong Province (2014-208), Guangdong Water Conservancy Science and Technology Innovation Project (2012-14), and the Scientific Platform and Innovation Capability Construction Program of Guangdong Academy of Sciences (2016GDASPT-0301).

** Corresponding author, E-mail: yanglong@gdas.ac.cn

Received Jun. 21, 2016; accepted Jul. 20, 2016

facilitation effect between the two plant species in ancient China, but also on the integrated and complex relationship among several plant species as well as the complex relationships between plants and animals in the ecosystem. This was especially the case for southern China which owned the records on traditional experiences on building complex ecosystem of orchards, tea plantations and other aspects of the ecosystem by the diverse plants and animals. The study sorted and analyzed ancient literatures on plant facilitation effect based on ecological theory. The study hoped to draw more attention on traditional experiences, especially those of ecologists. We hoped that more and more researchers investigate and verify the authenticity and applicability of the records on the basis of the theories of modern ecology and experimental methods to provide more useful references for ecological agriculture and modern forestry.

Keywords Ecological agriculture; Interspecific association; Competition; Facilitation; Ancient record

人类对自然的干预能力不断增强,如今已成为自然生态系统的最大干扰源。人类的干扰使生态系统带有越来越多的社会性,生态学家们也越来越多倾向于将人类干扰下的生态系统理解成为一种强调人类历史和文化作用的社会-生态系统(social-ecological system)^[1]。在社会-生态系统中,社会-生态记忆(social-ecological memory),即人类有关生态系统知识和相关文化的记载和传承,被认为是生态系统动力和恢复力的重要载体之一^[2-3],对其研究,有利于我们更好地理解和管理人类干扰下的生态系统过程。农业、林业生态系统中的植物种间关系是被记录最多的一种社会-生态记忆。种间关系主要有3种,即竞争(competition)、辅助(facilitation)和中性(neutral)。其中竞争关系是被研究最多的一种。但近几十年来,辅助关系逐渐受到重视并被引入主流生态学理论中。Callaway^[4]认为大多数植物群落之间可能具有相互作用,一些重要物种对于其他物种的生存及丰度起着重要作用。近期植物间辅助关系已被引入我国西南高山生境^[5-8]、北方干旱半干旱地区^[9-12]以及华南退化生境^[13-14]中。

中国传统农林业非常讲究多物种的搭配与布局,创造了间作、混作、套种等多层次的栽培制度,使生态系统复杂化、稳定性提高。我国历史悠久,历代典籍浩繁,历史文献中留下了大量动植物或生态系统中种间关系的相关记载。这些记载是古人在农业、林业经营的生产实践中长期观察和经验的积累,是难得的社会-生态记忆。这些内容大多保存在我国的古代农书中,其中从汉代到清代的专门农书记载的农业科学技术知识尤其丰富,是对当时中国古代农业科技技术的全面总结。农史学界学者郭文韬先生^[15]对中国古代关于作物间种套种的经验做了初步总结。此外,周肇基^[16]、彭世奖^[17]对植物间相生相克的有关历史记载进行了初步梳理。本文在以上研究的基础上,从社会-生态记忆的角度,对古农书文献中关于植物间辅助效应的记载进行梳理与分析,探寻植物间辅助效应的历史,以期引起学界同仁对

这些传统经验的重视,并在此基础上实现生态学实验研究。

1 种间关系界定与研究资料来源

根据单项效应,植物种间关系可基本归纳为3种效应:辅助、竞争以及中性。根据双向效应,Odum^[18]把种间相互作用分为9种类型,如表1所示。其中偏利作用、原始合作、互惠共生都有1种物种获益。张炜平等^[19]将植物间正相互作用定义为:在植物群落种间或者种内,当个体直接通过改善恶劣的生存环境、改变生长基质、增加资源的可利用性,或者间接通过消除潜在的竞争者、引入其他有益生物、保护不被取食等,促进了相邻个体的生存、生长或者增加了其丰富度时,相邻个体之间就发生正相互作用,即在相邻的植物个体之间,至少对其中1个个体具有促进作用。这类作用包括表1中的捕食作用、寄生作用、偏利作用、原始合作和互惠共生共5类。

我国历史上从春秋战国至清末,官私撰著的农书达500多种,现存者尚有300多种^[20]。1949年以来,先后有一批农林业历史研究专家对先秦至明清时期的重要农林书籍进行了校注整理。如最早的专门农书,成书于公元1世纪的《汜胜之书》中,已有关于利用植物种间关系使园艺作物增产的记载;公元6世纪后魏贾思勰撰成《齐民要术》,其中记载了北方旱地农业中多种作物经典的间、混、套作经验;自南北朝时期经唐宋时期到元代,司农司编辑的《农桑辑要》对前代的农业植物种间搭配经验作了总结;明清时期我国南方、北方农业生产都有高速发展,农业技术显著进步,综合性农书数量多,特别是反映南方地区生产经验的农书增多,许多综合性的农书如《农政全书》、《知本提纲》、《齐民四术》等都有较多植物间辅助效应的记载。关于植物间辅助效应的记载多集中在农作物栽培方面,其中以水稻(*Oryza sativa*)、小麦(*Triticum aestivum*)两种作物为中心的间作、套种历史记载最为丰富,时间主要集中在明清时期。本文主要依据这些已经整理出版的综

合性农书, 提取其中关于植物间辅助效应的数据, 们通过梳理古农书, 得到了大约100条有关植物间主要涉及两种或3种以上有明确植物名称的记载。我 辅助效应的记载(表2)。

表 1 植物种间相互作用类型(仿 Odum^[18])
Table 1 Types of interspecific association of plants (imitating Odum^[18])

种间关系类型 Type of interspecific association	物种 A 的效应 Effect on species A	物种 B 的效应 Effect on species B	相互作用结果 Results of interaction
中性作用 Neutralism	0	0	彼此没有影响 No relationship with each other
直接竞争 Direct competitiveness	-	-	彼此抑制 Restrain each other
间接竞争 Indirect competitiveness	-	-	资源缺乏时彼此间接抑制 Restrain each other when resources deficient
偏害作用 Amensalism	-	0	物种 A 受抑制, 物种 B 无影响 Species A is restrained, without influence on species B
寄生作用 Parasitism	+	-	物种 A 为寄生者, 个体通常小于寄主 Species A is parasitical, and smaller than host
捕食作用 Predatory	+	-	物种 A 为捕食者 Species A is a predator
偏利作用 Commensalisms	+	0	物种 A 获益, 物种 B 无影响 Species A is the beneficiary without influence on species B
原始合作 Protocooperation	+	+	双方均有利, 但非专性 Both of species A and species B are beneficiaries, but not obligate
互惠共生 Mutualism	+	+	双方均有利, 并且是专性 Both of species A and species B are beneficial and obligate

+: 正效应; -: 负效应; 0: 无影响。+: positive effect; -: negative effect; 0: no effect.

表 2 历史文献中的植物间辅助效应
Table 2 Plant-plant facilitation in ancient records of China

辅助植物 Facilitative species	目标植物 Target species	机理 Mechanism	古文献 Ancient literatures
泥黄豆 <i>Glycine gracilis</i> var. <i>vulgars</i>	水稻 <i>Oryza sativa</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民四术》、《三农纪》、 《抚郡农产考略》
蚕豆 <i>Vicia faba</i>	水稻 <i>Oryza sativa</i>	缓冲低温、改善土壤营养 Buffering low temperature and improving soil nutrition	《耕心农话》
蚕豆 <i>Vicia faba</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《农政全书》、《齐民四术》、 《救荒简易书》
大豆 <i>Glycine max</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	—	《补农书》
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	杉幼苗 <i>Cunninghamia lanceolate</i> seedlings	遮阴、改善土壤营养 Shading and improving soil nutrition	《农政全书》
橡树 <i>Quercus palustris</i>	小麦 <i>Triticum aestivum</i>	—	《橡蛋图说》
豌豆 <i>Pisum sativum</i>	大麦 <i>Hordeum vulgare</i>	缓冲低温 Buffering low temperature	《齐民四术》
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i>	菜子 <i>Brassica campestris</i>	—	《农桑经》
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i>	苜蓿 <i>Medicago</i> spp.	—	《养余月令》、《农圃便览》、 《农桑经》、《救荒简易书》
甜瓜 <i>Cucumis melo</i>	小豆 <i>Vigna angularis</i>	—	《氾胜之书》
大豆 <i>Glycine max</i>	桐树 <i>Aluerites fordii</i>	—	《农政全书》
桐树 <i>Aluerites fordii</i>	黄栗 <i>Gastanea mollissima</i>	—	《农政全书》
大豆 <i>Glycine max</i>	麻 <i>Boehmeria nivea</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《农桑经》
大豆 <i>Glycine max</i>	高粱 <i>Sorghum bicolor</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《救荒简易书》
小麦 <i>Hordeum vulgare</i>	玉米 <i>Zea mays</i>	—	《区田试种实验图说》
谷子 <i>Setaria italica</i>	玉米 <i>Zea mays</i>	—	《区田试种实验图说》
绿豆 <i>Vigna radiata</i>	玉米 <i>Zea mays</i>	—	《区田试种实验图说》
麻 <i>Boehmeria nivea</i>	芜菁 <i>Brassica rapa</i>	—	《齐民要术》、《四时纂要》
麻 <i>Boehmeria nivea</i>	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	缓冲低温 Buffering low temperature	《齐民要术》、《农桑衣食撮要》、 《四时纂要》、《齐民四术》
麻 <i>Boehmeria nivea</i>	槐树 <i>Sophora japonica</i>	促进幼苗主干生长 Promoting seedling growth	《齐民要术》、《四时纂要》、《分门琐碎 录》、《花镜》、《农桑经》、《齐民四术》
麻 <i>Boehmeria nivea</i>	大豆 <i>Glycine max</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《农桑经》

续表

辅助植物 Facilitative species	目标植物 Target species	机理 Mechanisms	文献 References
粟 <i>Setaria italica</i>	黍 <i>Panicum miliaceum</i>	—	《齐民要术》
大豆 <i>Glycine max</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《农桑辑要》
绿豆 <i>Vigna radiata</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民要术》、《分门琐碎录》、 《齐民四术》
小豆 <i>Vigna angularis</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民要术》、《分门琐碎录》、 《齐民四术》
芜菁 <i>Brassica rapa</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民要术》
苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《陈旉农书》
黍 <i>Panicum miliaceum</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《汜胜之书》、《四时纂要》、 《农桑辑要》、《农桑经》
黑豆 <i>Glycine max</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《农桑辑要》
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《农桑辑要》、《齐民四术》
甜瓜 <i>Cucumis melo</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《农桑辑要》
芋 <i>Colocasia esculenta</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《农桑辑要》、《齐民四术》
豌豆 <i>Pisum sativum</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《蚕桑简编》、《蚕桑摘要》
棉 <i>Gossypium</i> spp.	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《蚕桑简编》、《蚕桑摘要》
赤豆 <i>Vigna angularis</i>	桑 <i>Morus alba</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民四术》
棉花 <i>Gossypium</i> spp.	甘蔗 <i>Saccharum officinarum</i>	—	《番禺县志》
桑 <i>Morus alba</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
竹 <i>Bambusoideae</i> Nees	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
麻 <i>Boehmeria nivea</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
黍 <i>Panicum miliaceum</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
稌 <i>Panicum miliaceum</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
桐树 <i>Alueries fordii</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《北苑别录》
桂 <i>Osmanthus fragrans</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《茶解》
梅 <i>Armeniaca mume</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《茶解》
辛夷 <i>Magnolia</i> spp.	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《茶解》
玉兰 <i>Magnolia</i> spp.	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《茶解》
松 <i>Pinus</i> spp.	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《茶解》
茶 <i>Camellia</i> spp.	兰 <i>Cymbidium</i> spp.	—	《茶解》
茶 <i>Camellia</i> spp.	菊 <i>Dendranthema morifolium</i>	—	《茶解》
蝇树 <i>Dalbergia</i> spp.	茶 <i>Camellia</i> spp.	防止动物捕食、水力抬升 Preventing from herbivory and hydraulic uplift	《广东新语》
大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	茶 <i>Camellia</i> spp.	增加遮阴 Shading	《广东新语》
玉米 <i>Zea mays</i>	棉 <i>Gossypium</i> spp.	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《农书述要》
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	棉 <i>Gossypium</i> spp.	温度缓冲 Buffering temperature	《农政全书》、《齐民四术》
大麦 <i>Hordeum vulgare</i>	棉 <i>Gossypium</i> spp.	温度缓冲 Buffering temperature	《农书述要》
蚕豆 <i>Vicia faba</i>	棉 <i>Gossypium</i> spp.	温度缓冲 Buffering temperature	《农政全书》、《农书述要》
芝麻 <i>Sesamum indicum</i>	棉 <i>Gossypium</i> spp.	—	《齐民四术》
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	苜蓿 <i>Medicago</i> spp.	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
黍 <i>Panicum miliaceum</i>	苜蓿 <i>Medicago</i> spp.	增加遮阴 Shading	《救荒简易书》
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	黄豆 <i>Glycine max</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《抚郡农产考略》
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	稻 <i>Oryza sativa</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《浦泖农咨》、《抚郡农产考略》

续表

辅助植物 Facilitative species	目标植物 Target species	机理 Mechanisms	文献 References
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《抚郡农产考略》
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	蚕豆 <i>Vicia faba</i>	缓冲低温 Buffering low temperature	《农政全书》
葱 <i>Allium fistulosum</i>	菊 <i>Dendranthema</i> spp.	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《菊谱》
葱 <i>Allium fistulosum</i>	芫荽 <i>Coriandrum sativum</i>	—	《齐民要术》
芋头 <i>Colocasia esculenta</i>	姜 <i>Zingiber officinale</i>	增加遮阴 Shading	《农桑衣食撮要》、《农桑经》
大豆 <i>Glycine max</i>	甜瓜 <i>Cucumis melo</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民要术》、《种艺必用》
韭菜 <i>Allium tuberosum</i>	甜瓜 <i>Cucumis melo</i>	—	《齐民四术》
绿豆 <i>Vigna radiata</i>	冬瓜 <i>Benincasa hispida</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民四术》
大豆 <i>Glycine max</i>	冬瓜 <i>Benincasa hispida</i>	改善土壤营养 Improving soil nutrition	《齐民四术》
蒜 <i>Allium sativum</i>	甜瓜 <i>Cucumis melo</i>	—	《农政全书》
茄子 <i>Solanum melongena</i>	苋菜 <i>Amaranthus tricolor</i>	—	《灌园史》
紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	甜瓜 <i>Cucumis melo</i>	增加遮阴 Shading	《种树书》、《农桑衣食撮要》
葱 <i>Allium fistulosum</i>	白苏 <i>Perilla frutescens</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《四时纂要》
蒜 <i>Allium sativum</i>	白苏 <i>Perilla frutescens</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《四时纂要》
冬瓜 <i>Benincasa hispida</i>	葫芦 <i>Lagenaria siceraria</i>	—	《种艺必用》
竹 Bambusoideae	柑橘 <i>Citrus reticulata</i>	温度缓冲 Buffering temperature	《农政全书》、《学圃杂疏》
大蕉 <i>Musa basjoo</i>	香芽蕉 <i>Musa nana</i>	—	《广东新语》
大蕉 <i>Musa basjoo</i>	蜜橘 <i>Citrus reticulata</i>	—	《广东新语》
大蕉 <i>Musa basjoo</i>	羊蒺 <i>Dioscorea</i> spp.	—	《广东新语》
枣树 <i>Ziziphus jujuba</i>	葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	促进主干生长 Promoting trunk growth	《种艺必用》、《调羹类编》、《农桑辑要》、《种树书》、《齐民四术》
大豆 <i>Glycine max</i>	栗树 <i>Castanea mollissima</i>	促进幼苗主干生长 Promoting seedling trunk growth	《农政全书》
酸枣树 <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i>	栗树 <i>Castanea mollissima</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《四时纂要》
松 <i>Pinus</i> spp.	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	温度缓冲 Buffering temperature	《农书述要》
小麦 <i>Triticum aestivum</i>	松 <i>Pinus</i> spp.	增加遮阴 Shading	《授时通考》
槐 <i>Sophora japonica</i>	大豆 <i>Glycine max</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《农桑衣食撮要》
木番薯 <i>Manihot esculenta</i>	桂树 <i>Osmanthus fragrans</i>	增加遮阴 Shading	《种岩桂法》
山芋 <i>Ipomoea batatas</i>	桂树 <i>Osmanthus fragrans</i>	增加遮阴 Shading	《种岩桂法》
山姜 <i>Alpinia japonica</i>	桂树 <i>Osmanthus fragrans</i>	增加遮阴 Shading	《种岩桂法》
谷 <i>Setaria italica</i>	竹 Bambusoideae Nees	改善土壤 Improving soil	《五杂俎》
大麦 <i>Hordeum vulgare</i>	竹 Bambusoideae Nees	改善土壤 Improving soil	《种艺必用》、《分门琐碎录》、《种树书》
大蒜 <i>Allium sativum</i>	杨柳 <i>Salicaceae</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《种艺必用》、《分门琐碎录》、《齐民四术》
酸枣树 <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i>	牡丹 <i>Paeonia suffruticosa</i>	增加遮阴 Shading	《洛阳牡丹记》、《分门琐碎录》、《汝南圃史》
香白芷 <i>Angelica dahurica</i>	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	防止动物捕食 Preventing from herbivory	《种树书》、《农桑衣食撮要》
刺榆 <i>Hemiptelea davidii</i>	五茄 <i>Acanthopanax gracilistylus</i>	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
刺榆 <i>Hemiptelea davidii</i>	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
刺榆 <i>Hemiptelea davidii</i>	萝藦 <i>Metaplexis japonica</i>	增加遮阴 Shading	《四时纂要》
松 <i>Pinus</i> spp.	茯苓 <i>Poria cocos</i>	真菌 Fungus	《花经》
松 <i>Pinus</i> spp.	灵芝 <i>Ganoderma lucidum</i>	真菌 Fungus	《花镜》
黄蘗 <i>Phellodendron amurense</i>	灵芝 <i>Ganoderma lucidum</i>	真菌 Fungus	《花镜》

2 生态学机理

我国古代生态农业历史记载中,多是种植经验的描述和总结,只有极少部分关于植物辅助效应的记载内容阐明了机理。而这些机理中描述最多的是植物幼苗的遮阴以及土壤养分的改良(豆科植物固氮作用),此外,在缓冲极端温度(夏季高温以及冬季低温)、减少杂草竞争、防治食草动物捕食等方面也有少量记录。历史文献中关于植物护理效应的记载多是关于利用某种植物作为护理植物,辅助另一作物的生长。如表2中所示,涉及今天粮食作物、经济作物、蔬菜、花卉栽培等方面的内容,以下根据不同生态学机理对表2中提取的历史文献中记载的植物种间辅助效应信息进行分析。

2.1 增加遮阴

增加遮阴是植物辅助关系中最常见的一种机理。在植物幼苗期或者有一定耐阴性的物种,对于太阳高辐射较为敏感,在全光照条件下无法生长或生长不良。而通过另一植物物种的冠幅遮阴效果,降低太阳辐射,可提高存活率或生长量。我国古代文献关于植物间辅助效应的记载中,涉及增加遮阴的记录最多。例如,在作物幼苗阶段,古人通过遮阴改变在自然状态下的生长劣势。桑树(*Morus alba*)作为古代重要的经济树种,汉代《汜胜之书》已记载将桑与黍(*Panicum miliaceum*)的种子混播,为桑树幼苗遮阴^[21]。这种技术在后代得到传承,唐代的《四时纂要》也有类似记载^[22],至清代的《农桑经》记载,桑和黍一起下种,利用黍为桑树幼苗遮阴,同时还在桑园的南面、西面种麻(*Boehmeria nivea*),起到为桑园遮阴的效果^[23]。

麻是中国古代重要的经济作物。麻与槐(*Sophora japonica*)是常见的组合,《齐民要术》中记载播种槐籽先行浸种,再与麻籽混播,从而育得端直良苗,其中还对机理进行了简要阐述,槐下种麻,“胁槐令长”,即将麻当作护理植物,槐为目标植物,使槐生长更好^[24]。类似的记载见于唐代的《四时纂要》^[22]。该技术在北方一直传承到清代,《农桑经》中还有类似记载^[23],据南宋时期的《分门琐碎录》记载,该技术在南宋时期已在南方地区出现^[25]。唐代以来,茶是中国重要的经济作物,唐代《四时纂要》记载茶树种植的幼苗阶段与雄麻、黍、稗(*Panicum miliaceum*)等高秆作物间种,既能增强茶树(*Camellia* spp.)抵抗自然灾害的能力,又有遮阴作用^[22]。

明代《农政全书》记载了在杉苗行间冬种小麦(*Triticum aestivum*)^[26]。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)

生长快,幼时需要适当的荫蔽,夏季小麦地上植株可为杉苗遮阴。冬季在杉苗间种植小麦还可提高地温,有利于杉木根系生长;清代《授时通考》中记载了利用植物种间关系进行松树(*Pinus* spp.)幼苗抚育的经验。首先,松树幼苗需要遮阴,同时需防动物捕食幼苗,所以一般选择具有大面积茅草(*Imperata cylindrica*)群落的地方栽植;另外,在没有茅草遮阴的地区,将松树种子与大麦(*Hordeum vulgare*)种子混种,利用大麦为松树幼苗遮阴^[27]。清代梁廷栋《种岩桂法》记载了桂树(*Osmanthus fragrans*)与其他作物间种的经验,在桂树初种一二年,于桂树树苗行间空地栽植木番薯(*Manihot esculenta*)、山芋(*Ipomoea batatas*)、山姜(*Alpinia japonica*)等植物。其中还说明了其机理是使彼此掩映遮阴,桂树长势更旺盛,少生杂草。并说明种植木番薯、山芋、山姜等,还有防除杂草的作用,当时这种利用植物种间关系遮阴、防除杂草的经验在当地桂树栽培中普遍运用^[28]。

蔬菜栽培方面也有许多增加遮阴的记载。例如利用芋(*Colocasia esculenta*)为姜(*Zingiber officinale*)遮阴,元代《农桑衣食撮要》记载种姜后要在东、西两面分别做坑,在坑口种芋头,以遮日色^[29]。清代《农桑经》也有类似的记载^[24]。此外,元代《种树书》有利用紫苏(*Perilla frutescens*)为瓜遮阴的记载,记载紫苏种在瓜畦上可遮日^[30]。

2.2 温度缓冲

我国受季风影响明显,大部分地区均夏季炎热、冬季寒冷,较易形成高或低的极端温度。通过植物种间的相互作用,形成多物种体系,可通过增加遮阴降低夏季空气高温或土壤高温,也可通过增加地表覆盖提高冬季地温以降低寒害,这两种作用在我国古籍中均有相关记载,明清时期北方农作中将苜蓿(*Medicago* spp.)和荞麦(*Fagopyrum esculentum*)、黍混作已相当普遍。如明代《养余月令》^[31]和清代《农圃便览》^[32]、清代《农桑经》^[23]等农书都提到苜蓿可与荞麦混作,主张夏月取籽和荞麦混种,荞麦收割后苜蓿生长得更好。清代《救荒简易书》说明了其机理,7月种植苜蓿时,正值高温,利用苜蓿和秋荞麦一起下种,使秋荞麦为苜蓿遮阴,并指出将苜蓿与黍混种,也是基于相同的机理。《救荒简易书》还记载了苜蓿和林木间种的经验,认为若在林荫蔽处种苜蓿菜,必能茂盛^[33]。

中国古代在利用植物间辅助效应缓冲低温方面也有较多记载。《齐民要术》中记载在种构树(*Broussonetia papyrifera*)时与大麻(*Boehmeria nivea*)混播可缓冲低温,还指出构树适宜栽培于溪谷环境,

春季将构树种子与大麻种子同时播种, 秋季和冬季留下大麻不收割, 为构树树苗提供较高的温度环境, 避免构树树苗受冻害胁迫, 第2年正月初, 割去大麻, 并放火烧去大麻茬。构树长势更旺, 1年之后即能长至1人高^[24]。这种技术在后代得到传承, 唐代的《四时纂要》^[22]和元代的《农桑衣食撮要》^[28]、清代的《齐民四术》也有类似的记载^[34]。

清代《齐民四术》记载了在种小麦的土地上, 小满时节于麦间套种棉花(*Gossypium* spp.)^[34]。清代《农书述要》中对其机理作了初步解释, 主要是利用小麦根系发达, 提升梅雨期棉花根部的土壤温度, 《农书述要》中还提到在准备种植棉花的田中先栽种蚕豆(*Vicia faba*), 也可起到缓冲低温的作用^[35]。

《农政全书》记载了蚕豆与棉花混栽, 冬季不拔去棉花秸秆, 可以缓解秋冬棉花的霜害。《农政全书》还记载了在柑橘(*Citrus reticulata*)林西北面种竹(竹亚科, *Bambusoideae* Nees), 以维护柑桔安全越冬的经验^[26]。宋代《北苑别录》记载桐(*Aluierites fordii*)与茶间作可以同时起到缓冲冬季低温和夏季遮阴的效果: “桐木之性与茶相宜, 而又茶至冬则畏寒, 桐木望秋而先落, 茶至夏而畏日, 桐木至春而渐茂”^[36]。

2.3 土壤改良与增加养分

Li等^[37]的研究中发现农业间作系统中普遍存在通过植物辅助效应促进P、Fe、Mn、Zn吸收以获得作物的超产现象。豆科植物普遍具有根瘤菌, 能够通过微生物的作用把分子形态的氮(N_2)转换为其他植物可利用的氮化合物形式, 从而增加土壤氮含量以提高其他物种的生长是最为常见的一种植物间的辅助关系。例如Wahbi等^[38]在地中海干旱区农作研究中发现, 丛枝菌根真菌(AMF), 特别是根外菌丝丛枝菌根真菌对植物种间的辅助效应实现过程中起着关键作用, AMF影响土壤物理和生物对氮、磷等营养物质的吸收, 同时AMF提高植物生长和养分吸收, 减少病原体和干旱的不利影响。

这种理论早已在中国古代的耕作制度和农业策略中体现。我国古代利用豆科植物固氮效应在作物栽培方面具有丰富的历史经验, 尤其是在北方旱作农业中历史更为悠久。中国古代农业中普遍利用豆科植物的固氮效应增加土壤养分, 以促进目标植物的生长。如《齐民要术》记载桑与绿豆(*Vigna radiata*)、小豆(*Vigna angularis*)间种, 利用这两种植物作为护理植物, 使桑树增产^[24]; 后期《分门琐碎录》^[24]、清代的《齐民四术》中也有类似的记载^[34]; 《齐民要术》中还记载了黄河中下游地区利用大豆(*Glycine*

max)作为护理植物, 甜瓜(*Cucumis melo*)为目标植物的护理经验。其中详细记载了栽培甜瓜的方法, 播种时用大豆为瓜起土, 改良甜瓜生长的土壤环境, 待甜瓜出苗后, 则掐去豆苗^[24]。

南宋时期的《陈旉农书》中总结桑苎麻间作的经验, 利用桑根深、苎麻(*Boehmeria nivea*)根浅的规律, 两者根系在土壤中占据的空间层次不同, 生产期互不影响, 每次施肥能使苎麻和桑同时受益^[39]。元代人对桑树种植的规律有了更深刻的认识, 提出了更多适于桑间种植的作物种类, 强调在间作套种中不仅要重视植物种间互利原则, 还要有利于躲避虫害, 促进桑叶增产。元代《农桑辑要》中记载桑下如种绿豆、黑豆(*Glycine max*)、芝麻(*Sesamum indicum*)、瓜芋等, 能使桑树长势更好, 第2年的桑叶产量可增加20%~30%, 另外桑下种黍也是北方常见的农作经验, 农家谚语“桑发黍, 黍发桑”, 说明了桑与黍之间的互利关系^[40]。清代《蚕桑简编》、《蚕桑摘要》等也记载了桑树行间种植绿豆、黑豆、豌豆、芝麻及甜瓜、蔬菜的经验, 并且说明这些作物和桑树之间都是互利关系; 此外, 在桑树的枝条还未抽叶之前, 桑地间可栽种棉花, 可起到疏松桑地土壤的作用^[41]。

明清时期长江中下游地区曾普遍存在一种水稻田中种植“泥黄豆”的技术。明代《天工开物》记载了江西吉安一带水稻收割后, 稻田不进行耕垦, 在稻苗株丛中种植 3~4 粒泥黄豆(*Glycine gracilis* var. *vulgars*), 残留在水稻田中秸秆根部的稻藁可以为泥黄豆的萌发提供必要的湿度、温度条件^[42]。到清代, 稻田中栽种泥黄豆在南方曾相当盛行。《齐民四术》^[34]、《三农纪》^[43]、《致富纪实》^[44]等都记载了稻田套种泥黄豆。嘉庆《九江府志》也记载当地在早稻成熟但未收获的时候, 趁稻田泥中含有较多水分时种豆, 所以称泥豆^[45]。泥黄豆是一种半野生大豆, 《齐民四术》中提到南方地区稻田中栽种泥黄豆有多种用途: 其一, 泥黄豆蛋白质含量高, 农家除用来炒熟食用之外, 还用来做豆腐, 口感滑嫩; 其二, 泥黄豆也用作马、猪的饲料; 其三, 将泥黄豆煮熟作为田地肥料, 效果超过用菜饼施肥; 其四, 种泥黄豆本身利用根部的固氮效应也可增加稻田土壤肥力^[34]。

清代长江中下游地区普遍采用蚕豆与稻混种, 蚕豆作为护理植物, 不仅可以缓冲早稻种植时稻田的低温, 还可以改良稻田土壤环境。清代奚诚《耕心农话》记载长江三角洲地区种早稻时, 因为春季

寒冷水稻不能出苗,就用1粒蚕豆种子搭配5粒稻谷种子播种,使稻谷种子与蚕豆一齐出苗,等蚕豆幼苗长至12~15 cm时,掐去豆苗茎叶作为绿肥,供给水稻稻苗生长,这样可使水稻幼苗发育更好^[46]。这种经验的科学性已被现代农学试验所证明。据许建平等^[47]在崇明进行的试验研究,绿肥蚕豆压青后使水稻田土壤肥力得到叠加,为水稻青秆活熟、增穗、增粒、增重而获增产创造了良好的土壤环境。绿肥蚕豆在土壤微生物作用下,除可释放大量养分外,还可合成一定数量的腐殖质,对改良土壤性质有一定作用。特别是可降低土壤容重,提高土壤总孔隙度。

明代以来,玉米是南方山区重要的粮食作物之一,《区田试种实验图说》记载绿豆、小麦、谷子可作为玉米的辅助植物。晚熟的豆类品种促进玉米生长,小麦秸秆的覆盖能影响一年生阔叶杂草的发芽和生长^[48]。在民国时期滇东北地区,玉米是重要粮食作物,当地将豆类作物作为护理植物,与玉米搭配间作的情况十分普遍。民国《宣威县志》记载,种植玉米时,同日同时将黄豆(*Glycine max*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)、四季豆(*Phaseolus vulgaris*)种于玉米夹空之间^[49]。

明清时期南方地区普遍将蚕豆作为小麦的护理植物。《农政全书》^[26]、明末清初的《补农书》^[50]、以及《酌泉录》^[51]等文献都记载了在麦田中栽种蚕豆的经验,《齐民四术》还指出南方地区普遍于麦田旁边种植蚕豆^[34],光绪《常山县志》详细记载当地在农历2月初旬于麦垄中种蚕豆,农历4月收麦之后,6月才收割蚕豆^[52]。这种经验的生态学原理已被现代的实验所证明。据余丽娜等^[53]研究,小麦蚕豆间作条件下,两种作物共生在一起促进了氮素的吸收利用,整个生育期内,间种两种作物吸氮量之和基本高于单作。不同的是小麦吸氮曲线较陡,需氮量大,吸氮峰值较高,蚕豆吸氮曲线较为平缓,需氮量较小。清代还利用大豆作为护理植物,小麦作为目标植物,将大豆间作在小麦中。清代的《救荒简易书》中记载湖北钟祥县普遍在小麦垄间种植大豆^[33]。孙建好等^[54]采用双变量分析法分析小麦大豆间作氮磷肥效,发现小麦大豆间作的产量互补效应表现为小麦产量提高,大豆产量下降。

在南方地区有关于大麦与豌豆间作的记载。清代的《齐民四术》记载南方地区大麦与豌豆下种与收获时间大致相同,因此南方地区的农民普遍将豌豆与大麦混种,并解释豌豆作为大麦的护理植物,可提升种植地的土壤湿度与温度^[34]。而现代实验研究发现,大麦与豌豆间作,还有更多的互利作用,

据秦亚洲等^[55]的研究,大麦间作豌豆系统中,可以更加有效地利用资源,如光、水分和养分等,大麦和豌豆之间的互利作用大于竞争作用,间作可促进提高两种作物的产量。另外,利用豌豆与大麦的混播,可减少豌豆倒伏。据Patrick等^[56]的研究,大麦与豌豆混播,饲料中的C、P含量随混作中豌豆播种量的相对比例增加而增加。

长期以来,人们认为刀耕火种的传统造林方式采用砍伐或火烧来减少目标植物与非目标植物间的竞争,实际上,传统林业中也有许多通过合理的间种提高林地肥力的经验。如骆世明等^[57]在海南的研究表明,在人口压力少的条件下,传统刀耕火种系统能够通过旱稻、木豆(*Cajanus cajan*)、甘薯(*Dioscorea esculenta*)等多种作物的间套种最大限度地增加地面覆盖,减少水土流失。我们发现广东北部也有传统刀耕火种记载,如连南瑶族自治县的排瑶进行刀耕火种的模式是:造林后在林地上间种农作物或者将杉苗、桐树苗混交,在管理农作物的同时,对杉树、桐树幼林进行除草、松土,每年1至2次,连续3至4年,待杉、桐幼林郁闭时,才停止农作物的间作。在对农作物进行中耕的同时,使幼林也得到了及时、精细的抚育^[58]。连南金坑瑶族的杉林经验十分有名,所产的金坑杉材质极优。金坑地区经营杉木林,一般从种到砍需20年左右,经营过程为:第1年全垦整地,插杉造林,间种玉米、番薯、大薯、芋头;第2年间种玉米、番薯、大薯、芋头,点种油桐;第3年间种山禾(*Oryza sativa*)、木薯;第4~8年,油桐与杉木共生,8年后杉木完全郁闭,油桐退化;从第9年开始,杉木迅速生长,到20年左右成材砍伐。这样,在造林前3年有杂粮收入,第4—8年有油桐收入,再过10年左右,又有木材收入^[59]。油杉(*Keteleeria fortunei*)是中国传统的木材,杉木生长快,幼时需要适当的荫蔽^[60]。在杉木造林地套种作物,待林分郁闭时另行栽杉,可促进杉树幼苗的加速抚育。据中国林业科学院研究,采取林下植被控制法有利于促进杉木林下凋落物的积累和分解,改善土壤理化性质^[61]。

2.4 减少杂草或动物捕食

单个物种的竞争对手主要包括杂草以及食草动物捕食两个主要方面,杂草容易与植物幼苗争夺有限的水分与养分,间接产生竞争作用;而食草动物捕食会直接影响植物幼苗的存活与生长。Louthan等^[62]对肯尼亚中部地区的研究发现,在环境恶劣的地区护理植物对减少草食动物对目标植物的取食有促进作用,强于非生物胁迫所产生的效应。我国古代文

献中, 也有大量相关的记载。

清代《农桑经》记载大豆间种大麻可以防虫害, 其中大麻为护理植物, 利用大麻避虫^[23]。利用种植玉米作为护理植物为棉花防虫见于清代《农书述要》的记载, 其种棉法中提到于棉树 25 行之外, 留空 5 行, 先以 1 行种玉米, 诱导害虫在玉米植株穗部产卵, 玉米即将成熟时, 剪去其穗部并焚烧。以这种方法起到除虫的作用^[35]。

其他利用种间关系防治虫害的例子还有很多。如元代《农桑衣食撮要》记载在槐树中种植大豆, 槐树可减少大豆虫害^[28], 元代《种艺必用》记载种杨柳(*Salicaceae*)时若生刺毛虫, 先于根下种大蒜(*Allium sativum*)一枚, 可防虫害^[63], 《分门琐碎录》^[25]与《齐民四术》^[34]也有类似的记载; 明代的园艺著作如《稼圃集》记载园圃中宜种百部, 则百虫不生, 《汝南圃史》则记载种树时以大蒜一枚, 甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)一寸放置根下, 则可永无虫蛀^[64]; 清代《农桑经》记载有北方地区普遍使用芥(*Brassica juncea*)、大麻除虫害。在种谷子、麦类作物的地中, 每亩用芥子末一小盅, 与谷子、麦类作物种子一起下种, 土壤中的虫害可大量减少, 《农桑经》还记载大麻与大豆间的互利作用, 大麻与大豆一起种植, 有防治豆虫和使麻增产的作用; 明代黄省曾《菊谱》中记载韭菜(*Allium tuberosum*)、葱(*Allium fistulosum*)、蒜(*Allium sativum*)于菊(*Dendranthema* spp.)旁可以防虫^[65]。

在防虫害之外, 中国古代在利用植物种间关系防止其他动物捕食方面还有很多记载。例如, 唐代《四时纂要》记载有种植白苏(*Derilla ocymoidae*)时, 种子多被雀类取食, 所以多将其分种在葱或蒜的垄中; 种芝麻有防动物捕食粮食作物的作用。《齐民要术》记载在靠近路边种植粮食作物的田地, 为防止牲畜过往取食, 种植胡麻或大麻这些牲畜不喜食的作物, 以遮蔽粮食作物; 清代《齐民四术》中也有种植芝麻防牲畜取食其他作物的记载。

中国古代在防治蛇害方面也有很多经验。例如《种艺必用》中记载在园圃四旁种决明草(*Cassia tora*), 可防蛇进入, 《种树书》、《分门琐碎录》也有类似的记载; 此外, 《种树书》记载在椒树(*Zanthoxylum bungeanum*)中种植香白芷(*Angelica dahurica*), 可防蛇来吃椒, 《农桑衣食撮要》也有类似记载。清代江志伊《农书述要》中记载松(*Pinus* sp.)与樟(*Cinnamomum camphora*)间种可同时起到缓冲低温对樟树幼苗的为害和为松树幼苗防虫害的作用。具体做法是先选松与其他易于成林的常绿树树苗, 相距 2.1~2.4 m 栽植, 经 3~4 年, 树苗长至 1~1.2 m 高时, 在这些树苗

的行间栽植樟树苗, 并根据樟树培育的不同用途(为培育用材林或是为获取樟脑)而进行人工疏密。约经 10 年, 樟树长至 2.4~3 m 时, 将其他树木伐去, 只剩樟林^[34]。这种经验中, 充分利用了松与樟之间的辅助关系以增加目标植物樟树种苗的定居。

通过对中国古代记载的分析, 我们可以发掘一些古代常用的减少动物捕食方面的护理植物。例如酸枣树(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)(鼠李科)是古代园艺中常见的护理植物, 中国古代常利用酸枣树与其他园艺作物搭配种植, 可起到缓冲低温、防止动物捕食园艺植物等作用。《齐民要术》记载当时北方普遍利用酸枣作园篱。《分门琐碎录》记载酸枣作园篱能避霜, 提升园圃的温度, 可防止园圃花果的低温危害; 《汝南圃史》记载栽植果树之后, 在果树周围栽种酸枣, 不仅可以保护果树免受牲畜危害, 同时利用酸枣树提升园圃温度。

3 生态系统构建

Bueno 和 Llambí 等^[66]运用复杂网络理论研究了过去几百年巴西南部森林草原生态系统扩张过程中植物间的护理效应, 发现木本植物的丰富度是亚热带森林草原生态系统种间关系网络的关键因子。实际上, 中国历史上不仅有利用两种植物种间辅助效应的技术, 还有利用多种植物与动物间复合的种间辅助关系, 即利用生物多样性构建生态系统, 不仅取得更好的经济效益, 也实现了自然资源的永续利用。例如珠江三角洲的桑基鱼塘系统中, 在基地上栽培桑树, 桑叶喂蚕, 蚕食桑叶后排出的蚕沙和剩下的蚕蛹等投放鱼塘, 供塘鱼作为饲料, 池塘里的饲料碎屑、鱼类、水生生物的代谢产物及其死亡后的残体等有机物, 一部分在微生物作用下, 分解成无机养分, 供浮游植物生长需要; 一部分沉积成塘泥, 随戽泥又回到栽培桑树的基面。其中, 桑、蚕、鱼等构成了一个完整的桑基鱼塘人工生态系统^[67]。华南地区利用黄猄蚁(*Oecophylla smaragdina*)防治荔枝(*Litchi chinensis*)、柑桔(*Citrus reticulata*)害虫是六朝时期《南方草木状》中最早提出来的生物防治方法, 距今已有 1 600 多年的历史^[68]。唐代《酉阳杂俎》、《岭表录异》等多种文献均有论及。唐《酉阳杂俎》记载岭南地区采用黄猄蚁防治柑桔害虫方法, 对改善柑桔品质有重要作用^[69]。其后, 唐昭宗时刘恂所撰《岭表录异》一书, 也记载了利用黄猄蚁防治柑桔害虫的情况^[70]。

到明清时期, 这种技术在岭南地区得到进一步发展。通过生态系统的设计来防治果园虫害涉及藤

竹(Bambusoideae)、柑橘、荔枝等树木,构建的复合果园生态系统更有利于黄猄蚁的生存和繁殖,以起到更好的果树害虫防治作用。据明末清初的《广东新语》记载,明代珠江三角洲地区的黄猄蚁常年都可繁殖,当地人选取个体比较大的黄猄蚁饲养之后转售给经营园圃的人。园圃种植者连巢购买,放置于果树树头,果树之间通过种植藤竹引渡黄猄蚁,使黄猄蚁在果林之中的树与树之间可以活动,这样可防止果树的花果虫害。《广东新语》中提到这种生物防治方法对于柑橘、柠檬树尤其适宜^[71]。清代吴震芳《岭南杂记》记载这种技术在粤西高州一带的柑桔(*Citrus maxima*)林果园也比较流行^[72]。

中国古代还有利用动物传粉来构建防虫害的茶园生态系统。嘉靖《广东通志》中记载了一种“蝇木”,是广东西樵山茶园中常见的护理植物,这种蝇木(待考)大约高6~9 m,叶片表面像桑叶,但比桑叶厚滑,蝇木适应性强,增城、从化一带的山中曾十分常见,生长旺盛,成材快。蝇木开白色小花,花形像茉莉,但比茉莉花小,有甜蜜香味,伞型花序,有大群蝇类喜欢集于这种树木的花上,故有“蝇木”之名^[73]。《广东新语》记载明代南海西樵山山下的茶园虫害较多,当地人选取植株较小的蝇木种植在茶园中,这种树木不仅有防除虫害作用,还有调节茶园土壤水循环的作用,土壤干旱时可以局部降雨,土壤中水分过多时可以储藏,这样茶园无旱潦之患^[71]。

4 结论与展望

中国有着悠久的农业文明,历史上积累的丰富的生态知识与生态农业技术构成了我国丰富的社会-生态记忆。通过分析搜集的古文献发现,中国农业生产的历史中利用植物间辅助效应例子普遍存在。其中,出现次数最多的护理植物是大豆,经济作物中桑树作为目标植物的护理效应记载最多。历史时期,清代以前本地作物间辅助效应的例子较多,外来作物辅助效应记载的例子相对较少,清代以后,玉米作为护理植物与目标植物的记载较多。中国的传统农书中,汉代至唐代的农书所总结的技术知识以黄河流域旱农生产为主,其中以豆类作为护理植物进行抗旱保墒,粮食作物作为目标植物。唐代以后,江南的记载逐渐增加,例如关于茶树作为目标植物,利用桑、竹、麻等作为护理植物增加遮阴已在唐代出现。明清时期随着南方山区的开发,水稻、玉米等作物护理效应的记载也增多。其中特别值得注意的是华南地区的特殊性,目前我们的分析发现,关于植物间辅助效应的生态系统设计的记载在岭南

地区的农业文献中记载最多,并且这种记载可能在公元4世纪已出现。

中国的农业、林业的发展是在人口压力下小农经营模式为基础,在没有化肥、除草剂使用的传统时代,小农通过对环境的关系、植物种间关系的观察,积累出一系列有益的农林业经营与管理经验。通过利用植物间辅助效应,减少化肥、除草剂的使用,减少对于土壤环境中N、P等化学元素的负荷。在具体的技术实施层面,不仅有种间关系的利用,还有在生态系统层面的复杂设计,这对现代生态学的许多研究都有重要的参考价值。

但是,以上关于历史文献记载的植物间辅助效应的分析中,其中有些种间关系的机理实际上可能十分复杂,我们目前只能作一些粗浅的判断。同时,我国古代关于植物间辅助效应的相关记载中仍存在许多问题。首先,古文献中的植物、动物与现代科学意义上的拉丁属种名称的对应,需要进一步科学考订;其次,古文献中关于作物栽培具体技术流程、实施环境等大都缺乏具体而清晰的描述。需要通过挖掘更多的历史文献、历史档案资料进行考证分析,同时利用人类学、社会学质性方法,深入访谈一些有经验的农、林业相关工作人员,获得一些传统时代重要的植物间辅助技术经验及其施行的具体环境背景,并对其进行现代实验科学的验证。总之,我国传统的社会-生态记忆多是经验性和描述性的,缺少量化过程和机理分析。但不可否认的是,这是广大劳动人民长期实践过程中的智慧结晶,是被历史证明了且行之有效的生态系统管理方法,对现代的科学研究和农业实践均有重要的借鉴意义,也是生态学中非常有价值的课题。

参考文献 References

- [1] Olsson P, Folke C, Berkes F. Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems[J]. *Environmental Management*, 2004, 34(1): 75-90
- [2] Barthel S, Folke C, Colding J. Social-ecological memory in urban gardens-retaining the capacity for management of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2010, 20(2): 255-265
- [3] 孙中宇, 任海. 生态记忆及其在生态学中的潜在应用[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 549-555
Sun Z Y, Ren H. Ecological memory and its potential applications in ecology: A review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(3): 549-555
- [4] Callaway R M. Positive Interactions and Interdependence in Plant Communities[M]. Netherlands: Springer, 2007
- [5] Wang Y C, Bao W K, Wu N. Effects of *Salix sphaeronymphe*

- Gorz shrubs on herbaceous community in forest secondary succession (Tibetan Plateau)[J]. Polish Journal of Ecology, 2011, 59(3): 495–505
- [6] Li P X, Krüsi B O, Li L S, et al. Facilitation associated with three contrasting shrub species in heavily grazed pastures on the eastern Tibetan Plateau[J]. Community Ecology, 2011, 12(1): 1–8
- [7] Wang Y C, Bao W K, Wu N. Shrub island effects on a high-altitude forest cutover in the eastern Tibetan Plateau[J]. Annals of Forest Science, 2011, 68(6): 1127–1141
- [8] Yang Y, Niu Y, Cavieres L A, et al. Positive associations between the cushion plant *Arenaria polytrichoides* (Caryophyllaceae) and other alpine plant species increase with altitude in the Sino-Himalayas[J]. Journal of Vegetation Science, 2010, 21(6): 1048–1057
- [9] Chu C J, Maestre F T, Xiao S, et al. Balance between facilitation and resource competition determines biomass-density relationships in plant populations[J]. Ecological Letters, 2008, 11(11): 1189–1197
- [10] Chu C J, Weiner J, Maestre F T, et al. Positive interactions can increase size inequality in plant populations[J]. Journal of Ecology, 2009, 97(6): 1401–1407
- [11] Zhang M J, Liu M S, Li Y T, et al. The combined positive effects of two dominant species in an arid shrub-herbaceous community: Implications from the performance of two associate species[J]. Plant Ecology, 2011, 212(9): 1419–1428
- [12] Zhao H L, Zhou R L, Su Y Z, et al. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia[J]. Ecological Engineering, 2007, 31(1): 1–8
- [13] Yang L, Ren H, Liu N, et al. The shrub *Rhodomyrtus tomentosa* acts as a nurse plant for seedlings differing in shade tolerance in degraded land of South China[J]. Journal of Vegetation Science, 2010, 21(2): 262–272
- [14] 杨龙, 刘楠, 王俊. 植物护理效应研究综述[J]. 热带地理, 2012, 32(3): 321–330
- Yang L, Liu N, Wang J. Review of the research on nurse plant effect[J]. Tropical Geography, 2012, 32(3): 321–330
- [15] 郭文韬. 中国农业科技发展史略[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1988
- Guo W T. A Brief History of the Agricultural Technology's Development in China[M]. Beijing: China Science and Technology Publishing House, 1988
- [16] 周肇基. 中国植物生理学史[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1998
- Zhou Z J. History of Plant Physiology in China[M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1998
- [17] 彭世奖. 我国传统农业中对生物间相生相克因素的利用[J]. 农业考古, 1992(1): 139–146
- Peng S J. Allelopathy between organisms in Chinese traditional agriculture[J]. Agricultural Archaeology, 1992(1): 139–146
- [18] Odum E P. Basic Ecology: Fundamentals of Ecology[M]. Philadelphia: Holt-Saunders, 1983
- [19] 张炜平, 王根轩. 植物邻体间的正相互作用[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5371–5380
- Zhang W P, Wang G X. Positive interactions in plant communities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(19): 5371–5380
- [20] 王毓瑚. 中国农学书录[M]. 北京: 中华书局, 2006
- Wang Y H. Index of Agricultural Books in China[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2006
- [21] 万国鼎. 汜胜之书辑释[M]. 北京: 中华书局, 1957
- Wan G D. The Book of Fan Sheng-chih (on Agriculture)[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1957
- [22] 韩鄂. 四时纂要校释[M]. 北京: 农业出版社, 1981
- Han E. Collations and Annotations on the Book “Compilation on Important Matters of the Four Seasons”[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1981
- [23] 蒲松龄. 农桑经校注[M]. 北京: 农业出版社, 1982
- Pu S L. Collations and Notes on the Book “Classics of Agriculture and Sericulture”[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1982
- [24] 贾思勰. 齐民要术今释[M]. 北京: 中华书局, 2009
- Jia S X. Recent Annotations on the Book “Chhi Min Yao Shu (Important Arts for the People's Welfare)”[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2009
- [25] 化振红. 《分门琐碎录》校注[M]. 成都: 巴蜀书社, 2009
- Hua Z H. Collations and Notes on the Book “FenMen Suo Sui Lu”[M]. Chengdu: Bashu Publishing House of Sichuan Publishing Group, 2009
- [26] 徐光启. 农政全书[M]. 上海: 上海古籍出版社, 1979
- Xu G Q. Complete Treatise on Agriculture[M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 1979
- [27] 马宗申. 授时通考校注[M]. 北京: 农业出版社, 1991
- Ma Z S. Collations and Notes on the Book “Shou Shi Tong Kao (Compendium of Works and Days)”[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991
- [28] 梁廷栋. 种岩桂法[M]. 上海: 江南总农会, 1903
- Liang T D. Book of the Planting Techniques of *Cinnamomum pauciflorum*[M]. Shanghai: Jiangnan Zonggonghui, 1903
- [29] 鲁明善. 农桑衣食撮要[M]. 北京: 农业出版社, 1962
- Lu M S. Selected Essentials of Agriculture, Sericulture, Clothing and Food[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1962
- [30] 俞宗本. 种树书[M]. 北京: 农业出版社, 1962
- Yu Z B. Book of the Tree Planting[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1962
- [31] 戴羲. 养余月令[M]. 北京: 中华书局, 1956
- Dai X. Monthly Ordinances for Superabundance[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1956
- [32] 丁宜曾. 农圃便览[M]. 北京: 中华书局, 1957
- Ding Y Z. Review Books on Agriculture and Horticulture[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1957
- [33] 李文海, 夏明方, 朱浒. 中国荒政书集成[M]. 天津: 天津古籍出版社, 2010
- Li W H, Xia M F, Zhu H. Chinese Famine Books Integration[M]. Tianjin: Tianjin Ancient Books Publishing House, 2010
- [34] 包世臣. 齐民四术[M]. 北京: 中华书局, 2001
- Bao S C. Four Arts for the People's Welfare[M]. Beijing:

- Zhonghua Book Company, 2001
- [35] 彭世奖. 中国作物栽培简史[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012
- Peng S J. A Brief History of Crop Cultivation in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012
- [36] 蔡襄. 荔枝谱(外十四种)[M]. 福州: 福建人民出版社, 2004
- Cai X. A Treatise on the Lichi[M]. Fuzhou: Fujian People's Publishing House, 2004
- [37] Li L, Tilman D, Lambers H, et al. Plant diversity and overyielding: Insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture[J]. New Phytologist, 2014, 203(1): 63–69
- [38] Wahbi S, Sanguin H, Tournier E, et al. Increasing the Role of Mycorrhizal Symbiosis in Plant-Plant Facilitation Process to Improve the Productivity and Sustainability of Mediterranean Agrosystems[M]. India: Springer, 2014: 327–336
- [39] 陈勇. 陈勇农书校注[M]. 北京: 农业出版社, 1965
- Chen F. Collations and Annotation on ChenFu's Agricultural Treatise[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1965
- [40] 元·大司农司. 元刻农桑辑要校释[M]. 北京: 农业出版社, 1988
- Da S N S. Collations and Annotation on Nung Sang Chi Yao (Fundamentals of Agriculture and Sericulture) Inscribed in Yuan Dynasty[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1988
- [41] 任兰生. 蚕桑摘要[M]. 刻本, 华南农业大学中国农业历史遗产研究所资料室, 1875
- Ren L S. Cansang Zhaiyao[M]. Block-printed book, The Institute of Chinese Agricultural Historie Heritage's Library of South China Agricultural University, 1875
- [42] 宋应星. 天工开物译注[M]. 上海: 上海古籍出版社, 1993
- Song Y X. Translation and Annotation on the Exploitation of the Works of Nature[M]. Shanghai: Shanghai Ancient Books Publishing House, 1993
- [43] 张宗法. 三农纪校释[M]. 北京: 农业出版社, 1989
- Zhang Z F. Collations and Annotation on San Nong Ji (Records of the Three Princedoms of Chhin)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1989
- [44] 王连铮, 郭庆元. 现代中国大豆[M]. 北京: 金盾出版社, 2007: 602
- Wang L Z, Guo Q Y. Soybean of Modern Time in China[M]. Beijing: The Jindun Publishing House, 2007: 602
- [45] 朱启, 朱浩. 嘉庆九江府志[M]. 刻本, 江西省图书馆藏, 1819
- Zhu Q, Zhu H. The Annals of JiuJiangFu in Jiaqing Era[M]. Block-printed book, Jiangxi Provincial Library, 1819
- [46] 奚诚. 耕心农话[M]. 上海: 上海古籍出版社, 2003
- Xi C. GengXin NongHua[M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 2003
- [47] 许建平, 徐瑞国, 施振云, 等. 水稻-绿肥(蚕豆)轮作减少氮化肥用量研究[J]. 上海农业学报, 2004, 20(4): 86–89
- Xu J P, Xu R G, Shi Z Y, et al. Study on reducing chemical nitrogen fertilizer application in rice-green manure (broadbean) rotation[J]. Acta Agriculture Shanghai, 2004, 20(4): 86–89
- [48] 魏湜, 曹广才, 高洁, 等. 玉米生态基础[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010
- Wei S, Cao G C, Gao J, et al. Fundamental of Maize Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010
- [49] 缪果章. 民国《宣威县志》卷七[M]. 南京: 凤凰出版社, 2009
- Miu G Z. Annals of Xuanwei Compiled in the Yeas of Mingguo Time[M]. Nanjing: Phoenix Press, 2009
- [50] 张履祥. 补农书校释[M]. 北京: 农业出版社, 1983
- Zhang L X. Collations and Annotations on Bu Nong Shu (Supplement to the Treatise on Agriculture)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1983
- [51] 黄印, 高学谦. 酌泉录[M]. 上海: 文学图书馆, 1914
- Huang Y, Gao X L. Zhuo Quan Lu[M]. Shanghai: Literature Library, 1914
- [52] 李瑞钟, 朱昌泰. 光绪常山县志[M]. 上海: 上海书店, 1993
- Li R Z, Zhu C T. The Annals of Changshan County in Guangxu Era[M]. Shanghai: Shanghai Bookstore Publishing House, 1993
- [53] 余丽娜, 郑毅, 朱有勇. 小麦蚕豆间作中作物对氮的吸收利用[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18(3): 256–258
- She L N, Zheng Y, Zhu Y Y. Nitrogen uptake and utilization in wheat and broad bean intercropping[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2003, 18(3): 256–258
- [54] 孙建好, 李隆, 李娟. 小麦/大豆间作氮磷肥效的双变量分析[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 183–186
- Sun J H, Li L, Li J. Double variables analysis of nitrogen and phosphorus fertilizer effects in wheat/soybean intercropping system[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(4): 183–186
- [55] 秦亚洲, 王利立, 柴强, 等. 大麦间作豌豆的种间竞争力及产量对施氮量的响应[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(3): 482–487
- Qin Y Z, Wang L L, Chai Q, et al. Responses of interspecific competition and crop yield to nitrogen applications in a barley-field pea intercropping system[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(3): 482–487
- [56] Patrick M C, Martin G B, Caton J S, et al. Forage and nitrogen yield of barley-pea and oat-pea intercrops[J]. Agronomy Journal, 1998, 90(1): 79–84
- [57] 徐礼煜, 杨苑璋. 刀耕火种替代技术研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 26–29
- Xu L Y, Yang Y Z. Researches on Alternative Technologies for the Slash-and-Burn Cultivation Agriculture[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1996: 26–29
- [58] 连南瑶族自治县林业局. 连南瑶族自治县林业志[M]. 连南县林业局资料室藏, 1990: 68–69
- Forestry Bureau of Liannan Autonomous County of Yao Nationality. Local Records on Forestry of Liannan Autonomous County of Yao Nationality[M]. Forestry Bureau's Library of Liannan Autonomous County of Yao Nationality, 1990: 68–69
- [59] 中央林业部, 中南局计委林业局, 中共连南县委工作组. 金坑公社发展杉木林的经验[M]. 连南瑶族自治县档案馆

- 藏, 1964, 5: 58-G1.2-38
Central Forestry Department, Forestry Bureau of the Planning Committee of Central South Bureau, Workgroup in the County Party Committee of Liannan Autonomous County of Yao Nationality. Experience of Planting Fir Forestry in Jinkeng Commune[M]. Archives of Liannan Autonomous County of Yao Nationality, 1964, 5: 58-G1.2-38
- [60] 王正周. 林地间种探讨[J]. 林业经济问题, 1993(3): 27-31
Wang Z Z. Investigation on inter-planting of forest[J]. Problems of Forestry Economics, 1993(3): 27-31
- [61] 俞新妥, 叶功富, 林思祖, 等. 杉木栽培制度的初步研究[J]. 福建林学院学报, 1992, 12(3): 251-258
Yu X T, Ye G F, Lin S Z, et al. An approach to the culture system for Chinese fir[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 1992, 12(3): 251-258
- [62] Louthan A M, Doak D F, Goheen J R. Mechanisms of plant-plant interactions: Concealment from herbivores is more important than abiotic-stress mediation in an African savannah[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2014, 281(1780): 20132647
- [63] 吴悻. 种艺必用[M]. 北京: 农业出版社, 1963
Wu Y. Zhongyi Biyong (Book of Planting and Horticulture)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1963
- [64] 上海古籍出版社. 生活与博物丛书——花卉果木编[M]. 上海: 上海古籍出版社, 1993
Shanghai Ancient Books Publishing House. Series on Life and Natural History — Flower and Fruit[M]. Shanghai: Shanghai Ancient Books Publishing House, 1993
- [65] 范成大. 范成大笔记六种[M]. 北京: 中华书局, 2002
Fan C D. Six Kinds of Note by Fan Cheng-Da[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2002
- [66] Bueno A, Llambí L D. Facilitation and edge effects influence vegetation regeneration in old-fields at the tropical Andean forest line[J]. Applied Vegetation Science, 2015, 18(4): 613-623
- [67] 钟功甫, 邓汉增, 吴厚水, 等. 珠江三角洲基塘系统研究[M]. 北京: 科学出版社, 1987
Zhong G F, Deng H Z, Wu H S, et al. Researches on the Dike-pond System in Pearl River Delta[M]. Beijing: Science Press, 1987
- [68] 中国科学院昆明植物研究所. 南方草木状考补[M]. 昆明: 云南民族出版社, 1991
Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Commentary and Complementary on Nan Fang Tshao Mu Chuang (A Prospect of the Plants and Trees of the Southern Regions)[M]. Kunming: Yunnan National Publishing House, 1991
- [69] 段成式. 酉阳杂俎[M]. 北京: 中华书局, 1981
Duan C S. Miscellany of the Yu-yang Mountain (cave)[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1981
- [70] 刘恂. 岭表录异[M]. 广州: 广东人民出版社, 1983
Liu X. Strange Southern Ways of Men and Things[M]. Guangzhou: Guangdong People's Press, 1983
- [71] 屈大均. 广东新语[M]. 北京: 中华书局, 1997
Qu D J. New Talks about Kuangtung Province[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1997
- [72] 吴震方. 岭南杂记[M]. 上海: 商务印书馆, 1936
Wu Z F. Miscellaneous Notes on Kuangtung Things[M]. Shanghai: The Commercial Press, 1936
- [73] 戴璟. 嘉靖广东通志[M]. 北京: 书目文献出版社, 1996
Dai J. Annals of Guangdong Compiled in the Yeas of Jiajing in the Ming Dynasty[M]. Beijing: Bibliographic Publishing House, 1996